

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Космических и Информационных Технологий

институт

Информационные Системы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой ИС

_____ Виденин С. А.

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2016г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

230201.65 Информационные системы и технологии

Разработка автоматизированного рабочего места оператора 3D-сканера

Пояснительная записка

Руководитель

подпись, дата

П. П. Дьячук

Выпускник

подпись, дата

М. В. Черных

Нормоконтролер

подпись, дата

Ю. В. Шмагрис

Красноярск 2016

						ДП-230201.65–770702185 ПЗ	Лист 3
Изм.	Копич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата		

						ДП-230201.65–770702185 ПЗ	Лист
							4
Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Общие сведения.....	7
1.1 3D-сканеры: основные возможности и области применения.....	7
1.2 Технологии 3D-сканирования.....	8
1.2.1 Контактные 3D-сканеры.....	8
1.2.2 Активные бесконтактные сканеры	10
1.2.3 Пассивные бесконтактные сканеры	14
1.3 Преимущества и недостатки различных типов сканеров	15
Глава 2. Описание аппаратной части АРМ	17
2.1 Микроконтроллер: описание и технические характеристики.....	17
2.2 Шаговый двигатель: принцип работы и технические характеристики.....	19
2.2.1 Принципы управления шаговым двигателем.....	22
2.3 Элементы отображения и считывания визуальных параметров сканируемого объекта.....	24
2.4 Элементы конструкции и крепления разрабатываемого устройства	27
Глава 3. Описание программной части АРМ	32
3.1 Начало работы с устройством.....	32
3.2 Калибровка устройства.....	36
3.2.1 Настройка расстояний и углов.....	37
3.2.2 Настройка и проверка отображения лазерного луча	38
3.2.3 Коррекция матрицы	39
3.3 Интерфейс программного обеспечения.....	41
3.4 Сканирование различных объектов и анализ результатов	43
3.5 Возможные варианты модернизации устройства.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47

ВВЕДЕНИЕ

В современном информационном обществе значительная часть процессов, связанных с созданием и получением трехмерных (3D (от англ. 3 Dimensions — «3 измерения»)) моделей различных объектов и структур, напрямую относится к такой области трехмерной графики, как 3D-моделирование.

Основная задача, которая решается в процессе 3D-моделирования — разработка и создание визуального объемного образа объекта. С помощью трёхмерной графики можно как создать точную копию конкретного предмета, так и разработать новое, даже нереальное представление ранее не существовавшего объекта. В наше время трёхмерная графика активно применяется для создания изображений на плоскости экрана или листа печатной продукции в науке и промышленности, например, в системах автоматизированного проектирования (САПР; для создания моделей различных объектов: зданий, деталей машин, механизмов), архитектурной визуализации, в современных системах визуализации в медицине.

Среди относительно новых способов получения цифровой трехмерной модели реального объекта можно выделить такой способ, как 3D-сканирование. Этот процесс значительно упрощает и облегчает решение многих задач из различных областей человеческой деятельности, таких, как промышленность, наука, искусство, медицина и пр. Несмотря на то, что первые устройства из этой области появились более, чем 20 лет назад, термин "3D-сканирование" (наряду с термином "3D-печать") до сих пор у многих людей ассоциируется с футуристическим и не совсем понятным процессом. Слабая распространенность информации о возможностях этой технологии в нашей стране вкупе с большим разнообразием подходов к реализации как аппаратной, так и программной частей устройств, выполняющих 3D-сканирование,

позволяет сделать вывод о достаточно высокой актуальности исследований и разработок различной направленности в рамках данного раздела.

Цель данного дипломного проекта: позволить оператору осуществлять конвертацию определенных реальных объектов и форм для получения трехмерной модели в электронном виде средствами разработанной АРМ.

Для достижения основной цели дипломного проекта были определены и сформированы следующие задачи:

- обобщить теоретические сведения об основных методах, используемых в трехмерном сканировании;
- выявить основной функционал будущего АРМ;
- разработать аппаратную часть АРМ;
- разработать программную часть АРМ.

Полученные методом сканирования 3D-модели в дальнейшем могут быть обработаны различными пакетами 3D-моделирования либо средствами САПР и могут использоваться для разработки технологического процесса (технологии) изготовления какого-либо изделия, инженерных расчётов и других нужд.

В проектируемом АРМ должны быть реализованы следующие функции:

- возможность предварительной настройки и калибровки устройства программными и аппаратными средствами;
- функционал для непосредственно самого процесса получения 3D-модели сканируемого объекта (сканирование, построение 3D-модели, обработка и экспорт модели в файл);

Аппаратная часть АРМ будет представлять собой готовое устройство (3D-сканер), состоящее из:

- лазерных модулей, осуществляющих проецирование линий на сканируемый объект;
- устройства захвата изображения объекта (Web-камера);
- площадки для размещения сканируемого объекта с функцией поворотного стола;

- шагового двигателя и драйвера для обеспечения вращения поворотного стола на требуемый угол;
- платы-контроллера шагового двигателя;
- направляющих и креплений для всех вышеперечисленных компонентов конструкции устройства.

Программное обеспечение для управления устройством будет представлять собой x86-совместимое приложение, работающее в среде семейства ОС Microsoft Windows, написанное на языке программирования C#.

Основная цель, поставленная в ходе разработки АРМ — реализация наиболее наглядного, простого для понимания и эффективного способа трехмерного сканирования, с наименьшими затратами на построение аппаратной части устройства без существенного ущерба для качества итогового результата (трехмерной модели). Ввиду достаточно большого разнообразия методов и подходов к реализации данной технологии, после анализа особенностей, преимуществ и недостатков основных из них, было принято решение при создании и проектировании АРМ использовать технологию лазерного 3D-сканирования.

Глава 1 Общие сведения

1.1 3D-сканеры: основные возможности и области применения

3D-сканер представляет собой устройство, которое анализирует определённый физический объект или область пространства, с целью получения данных о форме предмета и, в ряде случаев, таких параметров, как его размер и цвет. Эти данные применяются для создания цифровой трехмерной модели этого объекта. Этот процесс позволяет в разы сократить время, затрачиваемое на получение математической модели, пригодной для сравнения с исходным объектом.

3D-сканирование также используется для получения точных моделей сложнопрофильных объектов, которые в дальнейшем могут быть использованы для получения прототипов изделия или построения новых изделий на базе существующих. Эти технологии широко применяются в киноиндустрии, в медицине, в музейном деле, в промышленном дизайне и в индустрии развлечений, например, при создании компьютерных игр. С помощью 3D-сканирования можно оцифровывать культурное наследие, археологические объекты, предметы искусства. Также широкое применение трехмерное сканирование нашло в медицинском протезировании, в цифровом архивировании и т. д.

При создании сканирующего устройства могут быть использованы различные технологии. Каждая из них имеет свои собственные ограничения, преимущества и недостатки. К примеру, сканеры, использующие оптические технологии, имеют ряд ограничений при работе с зеркальными, прозрачными или блестящими объектами.

1.2 Технологии 3D-сканирования

Существует несколько технологий для цифрового сканирования и создания 3D-модели объекта. Существует также и классификация, которая делит 3D-сканеры на два основных типа: контактные и бесконтактные. В свою очередь, бесконтактные 3D-сканеры можно поделить ещё на две группы – активные и пассивные.

1.2.1 Контактные 3D-сканеры

Контактные 3D-сканеры исследуют объект непосредственно через физический контакт с его поверхностью, пока сам предмет сканирования пребывает в неподвижном состоянии на прецизионной поверочной плите, отшлифованной и отполированной до определённой степени шероховатости поверхности. Если объект сканирования неровный или не может стабильно лежать на горизонтальной поверхности, то для его фиксации применяют специальные зажимы.

Существует три различных вида контактных сканеров:

- Каретка с фиксированным измерительным элементом, расположенным перпендикулярно поверхности. Измерение по осям происходит, когда элемент движется вдоль каретки. Эта система оптимальна для плоских или выпуклых кривых поверхностей.

- Манипулятор, состоящий из нескольких звеньев, обладающий несколькими степенями свободы и оснащенный высокоточными угловыми датчиками. Вычисление расположения основного датчика измерительной руки в текущий момент времени происходит благодаря сложным математическим вычислениям, касающихся таких показателей, как угол вращения шарнира запястья руки, а также угол разворота каждого из его соединений. Этот тип сканирования хорошо подходит для решения задач, связанных с зондированием

каких-либо углублений или внутренних пространств с входным отверстием небольших размеров.

– Одновременное использование обоих вышеперечисленных методов. К примеру, манипулятор можно совместить с кареткой, что позволяет получать 3D-модели достаточно больших объектов, обладающих внутренними полостями или перекрывающимися друг друга поверхностями.

Ярким примером контактного 3D-сканера является координатно-измерительная машина (КИМ). Она может управляться вручную оператором или иметь автоматизированное управление с помощью компьютера. Измерения проводятся посредством зонда, прикрепленного к подвижной оси машины. В КИМ могут использоваться измерительные зонды различных типов – механического, оптического, лазерного и другими. Как правило, эти машины используются в производственном либо сборочном процессе для проверки соответствия размеров деталей или проверки качества сборки при сравнении с эталоном. После завершения получения множества точек объекта, полученные массивы данных анализируются с помощью различных алгоритмов. КИМ может быть запрограммирована на конвейерный поточный анализ, что позволяет считать КИМ одной из форм промышленного робота. К недостаткам КИМ можно отнести необходимость непосредственного контакта с поверхностью объекта. Из-за этого существует вероятность непреднамеренно изменить форму предмета или даже повредить его. Это весьма важно в тех случаях, когда сканируются предметы с тонкой либо хрупкой оболочкой, либо предметы, имеющие непосредственную историческую или культурную ценность, например, исторические артефакты. Ещё один существенный недостаток КИМ перед другими методами сканирования – низкая скорость.

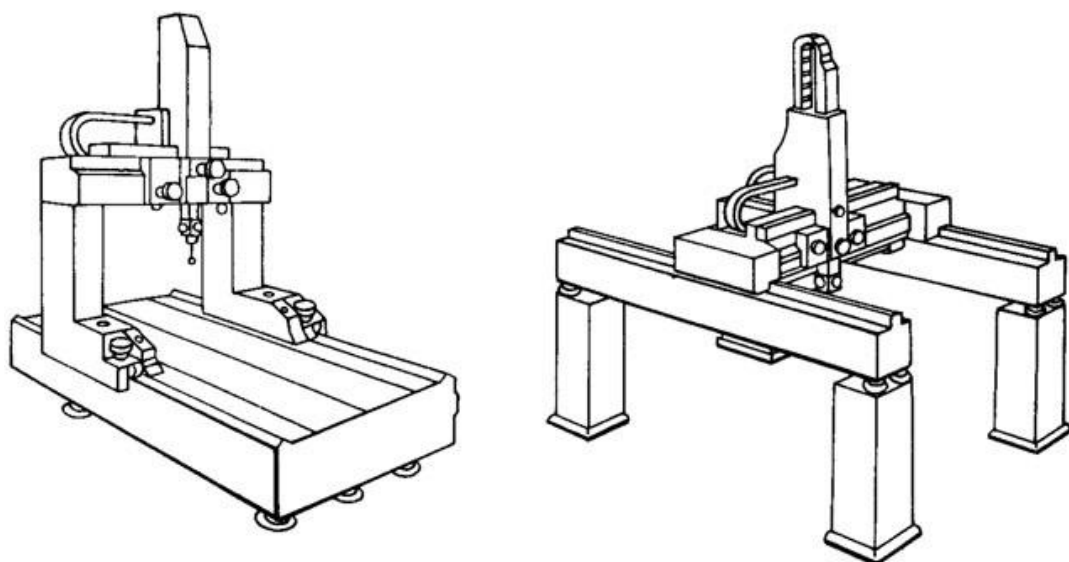


Рисунок 1 –Схематичные представления вариантов координатно-измерительной машины

1.2.2 Активные бесконтактные сканеры

Активные сканеры излучают и принимают излучение, проходящее между сканером и исследуемым объектом. В таких устройствах используется световое, ультразвуковое, лазерное или рентгеновское излучение.

Среди активных сканеров можно выделить несколько основных видов по типу использованной технологии:

Времяпролётный лазерный сканер – это активный сканер, который использует лазерный луч для взаимодействия со сканируемым объектом. В основе этого типа сканера лежит времяпролётный лазерный дальномер. Он определяет расстояние до поверхности объекта, исходя из времени пути лазера от излучателя до поверхности и обратно. Точность сканирования устройств, основанных на этом принципе, зависит от точности измерения времени пролета луча. Лазерный дальномер определяет расстояние только до одной точки в заданном направлении. Поэтому устройство сканирует все своё поле зрения по отдельным точкам, изменяя при этом направление и угол лазерного луча. Времяпролётные 3D-сканеры могут измерять расстояние от 10 000 до 100 000 точек за одну секунду.

Триангуляционный лазерный сканер. Этот тип устройств также относится к активным сканерам, которые используют лазерный луч для того, чтобы прозондировать объект. Подобно времяпролётным 3D-сканерам, триангуляционные устройства посылают на объект сканирования лазерный луч, а камера фиксирует расположение точки, в которую направлен лазер в данный момент времени. По мере перемещения лазерного луча по сканируемому объекту устройство фиксирует точки рельефа поверхности.. Эта технология названа триангуляцией потому, что лазерная точка, камера и сам лазерный излучатель образуют своеобразный треугольник. Известна длина одной стороны этого треугольника – расстояние между камерой и лазерным излучателем. Также известен угол лазерного излучателя. Угол камеры можно определить по расположению лазерной точки в поле обзора камеры. Эти 3 показателя полностью определяют форму и размер треугольника и указывают на расположение угла лазерной точки. В большинстве случаев, чтобы ускорить процесс сканирования, вместо лазерной точки используют лазерную полосу.

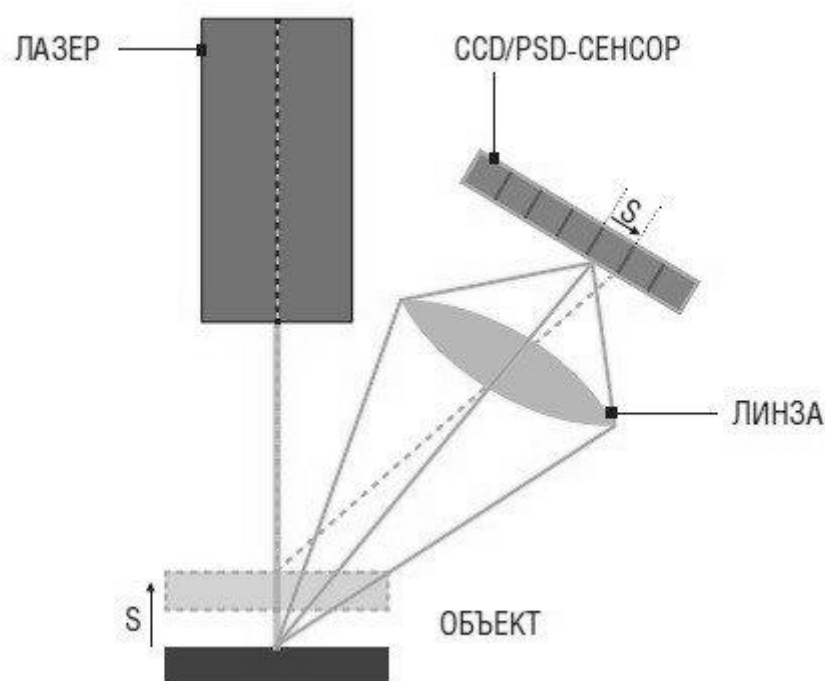


Рисунок 2 –Принцип работы триангуляционного лазерного сканера

Ручные лазерные сканеры. Такие сканеры создают 3D-изображение по принципу триангуляции, описанному выше. Лазерный луч или полоса проецируются на объект из ручного излучателя, а сенсор измеряет расстояние до поверхности объекта. Данные собираются относительно внутренней системы координат и если сканер находится в движении, то местоположение устройства должно быть точно определено в каждый момент времени. Это можно реализовать с помощью базовых пространственных объектов на сканируемой поверхности (наклеивающиеся отражающие элементы— метки или природные особенности фона) или же посредством метода внешнего слежения. В последнем способе зачастую используется устройство, отслеживающее текущее положение сканера — лазерный трекер со встроенной камерой. Также для этой цели можно использовать фотограмметрию, которая выполняется тремя камерами, фиксирующими движение сканера. Это даёт сканеру возможность совершать геометрические движения в трехмерном пространстве. Обе техники, как правило, используют инфракрасные светодиоды, за перемещением которых наблюдают камеры через специальные фильтры. Данные сканирования собираются компьютером и записываются в виде карты точек трехмерного пространства, которая после обработки преобразуются в триангулированную сетку. Затем программное обеспечение создаёт трехмерную модель, используя NURBS (неоднородный рациональный В-сплайн) — специальную математическую форму для генерации кривых и поверхностей. Ручные лазерные сканеры могут совмещать эти данные с пассивными датчиками видимого света, которые могут захватывать текстуру поверхности и ее цвет, что позволяет создать полноценную 3D-модель.

Сканеры структурированного света. Сканеры, работающие по технологии структурированного света, осуществляют проекцию световой сетки непосредственно на сканируемый объект, деформация линий этой сетки при наложении на объект дает возможность оценивать глубину расположения всех необходимых точек. Сетка проецируется на объект с помощью проекционного

аппарата(проектора) или другого постоянного источника света. Камера, расположенная на необходимом расстоянии от источника проекции, фиксирует форму сетки и вычисляет расстояние до каждой точки в поле зрения.

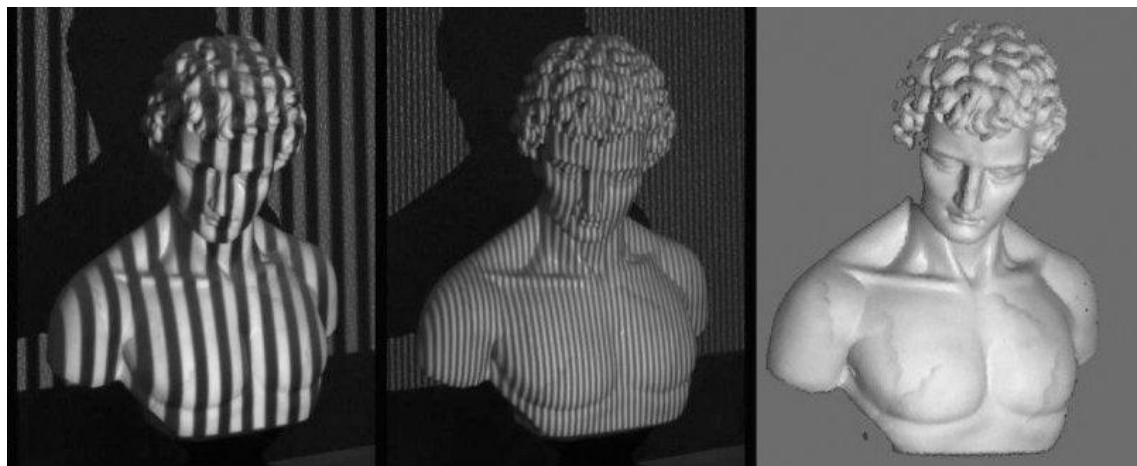


Рисунок 3–Проецирование сетки на объект и последующий результат сканирования

Преимущество сканеров, использующих технологию структурированного света, в их скорости и точности работы. Вместо сканирования одной точки в один момент времени, устройство сканирует одновременно несколько точек или все поле зрения сразу. Сгенерированные профили являются более точными, чем лазерные триангуляции. Это решает проблему искажения данных, вызванного движением сканируемого объекта. Кроме того, некоторые существующие системы способны сканировать даже движущиеся объекты в режиме реального времени. Сканеры, работающие в таком режиме, используют методы фазового сдвига, в основе которых лежит идея проецирования на объект серии шаблонов, что позволяет осуществлять захват и созданиетрехмерных моделей с высокой плотностью деталей и динамически изменяющихся объектов.

Изм.	Копич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

15

1.2.3 Пассивные бесконтактные сканеры

Пассивные сканеры не излучают свет, вместо этого они используют отраженный свет из окружающего пространства. Большинство сканеров этого типа предназначены для обнаружения видимого света, так как это наиболее доступный вид окружающего излучения. Однако могут быть задействованы и другие типы излучения, к примеру, инфракрасное излучение. Пассивные методы сканирования являются относительно дешёвыми, так как в большинстве случаев они не нуждаются в дорогостоящем специализированном оборудовании, чаще всего для достижения результата достаточно обычной цифровой камеры.

Стереоскопические системы предусматривают использование двух камер, как правило, расположенных на одинаковом расстоянии от объекта. Анализируя различия в изображениях, получаемых с каждой из камер, можно определить расстояние до каждой точки на объекте. Этот метод по своей сути похож на стереоскопическое зрение человека.

Фотометрические системы обычно используют одну камеру, которая производит съемку нескольких кадров с разных углов обзора. Эти методы восстанавливают поверхность модели объекта во время анализа пикселей с этих изображений.

Построение модели производится с использованием силуэтной техники, которая анализирует серию из последовательных фотографий объекта на контрастном фоне. Эти силуэты преобразуют с целью получить видимую оболочку объекта. Однако этот метод непригоден для сканирования каких-либо углублений в объекте (к примеру, внутренней полости чаши).

1.3 Преимущества и недостатки различных типов сканеров

Как времяпролётные, так и триангуляционные сканеры обладают своими сильными и слабыми сторонами, что определяет их выбор для каждой конкретной ситуации. Преимущество времяпролётных устройств в том, что они оптимально подходят для работы на очень больших расстояниях (вплоть до нескольких километров). Они хорошо подходят для сканирования зданий или каких-либо географических объектов. В то же время, к их недостаткам можно отнести точность измерений. Скорость света— достаточнобольшая величина, поэтому при подсчете времени, которое требуется лучу, дабы преодолеть расстояние до объекта и обратно,присутствует достаточно большая погрешность (до 1 мм). Все это накладывает определенные ограничения на использование этого вида сканеров.

Что же касается триангуляционных сканеров, то здесь наблюдается обратная ситуация. Диапазон их действия составляет лишь несколько метров, однако точность относительно высока. Такие устройства могут измерять расстояние с точностью до десятков микрометров.

Негативно на точность работы времяпролётных сканеров влияет исследование края объекта. Один посланный лазерный импульс в таком случае отражается сразу в двух местах. Координаты рассчитываются, исходя из позиции самого сканера, при этом берётся среднее значение двух отражений луча лазера. Это приводит к тому, что расположение точкиможет быть определено неверно. При использовании сканеров с высоким разрешением шансы на то, что лазерный луч попадёт точно на край объекта, возрастают. Эта проблема может быть решена при использовании специального программного обеспечения, которое правильно распознает только первое отражение лазерного луча, игнорируя при этом второе.

У сканеров с небольшой разрешающей способностью (при скорости работы до 10 000 точек за секунду)затраты времени на сканирование будут

небольшими— около нескольких секунд. Сканерам же с высокой разрешающей способностью потребуется выполнение нескольких миллионов операций, на что могут уйти минуты. Стоит учитывать, что данные могут исказиться, если объект или сканер будут двигаться в процессе сканирования. Так, каждая точка фиксируется в определённый момент времени в определённом месте. Если объект или сканер переместится в пространстве, то результаты сканирования будут ложными. Поэтому высокоточные сканеры, как правило, устанавливаются на фиксированной платформе, с целью свести возможность вибраций и смещений к минимуму.

Стоит учесть и тот факт, что при сканировании в одном положении в течение большого отрезка времени небольшое смещение сканера может произойти даже из-за изменения температуры. Если сканер установлен на штативе и одна из сторон сканера подвержена сильному влиянию солнечных лучей, то в этом случае штатив будет расширяться из-за нагревания, и данные сканирования в итоге могут быть искажены. Поэтому некоторые лазерные сканеры обладают встроенными компенсаторами, которые противодействуют любому движению сканера во время работы.

Глава 2 Описание аппаратной части АРМ

2.1 Микроконтроллер: описание и технические характеристики

В основе управляющего модуля устройства лежит микроконтроллер ATmega328P фирмы «Atmel», являющийся частью платформы ArduinoNano 3.0 фирмы «ArduinoSoftware». Платформа Arduinoпредставляет собой своеобразный электронный конструктор, предоставляющий возможность разработки и создания большого количества вариаций электронных устройств и механизмов. Платформа пользуется большой популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте используемого языка программирования, а также открытой архитектуре. Как правило,устройство программируется через порт USB компьютера без использования программаторов.Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков, а также могут управлять различными исполнительными устройствами.

Микроконтроллер на плате программируется при помощи языка Arduino (основан на языке Wiring) и среды разработки Arduino (основана на среде Processing). Проекты устройств, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере. Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе. Программное обеспечение доступно для бесплатного скачивания. Исходные чертежи схем (файлы CAD) являются общедоступными, пользователи могут применять их по своему усмотрению.

Язык программирования устройств Arduino основан на семействе языков C/C++. Он достаточно прост в освоении, и на данный момент Arduinoявляется, пожалуй, самым удобным способом программирования устройств на микроконтроллерах.

Краткие технические характеристики Arduino Nano 3.0:

- Микроконтроллер: ATmega328
- Разрядность: 8 бит
- Напряжение питания: 5 В
- Входное напряжение (рекомендуемое): 7-12 В
- Входное напряжение (предельное): 6-20 В
- Цифровые выводы I/O: 14 линий (6 из них — ШИМ)
- Аналоговые входы: 8 (АЦП)
- Максимальный ток на выводе I/O: 40 мА (для каждого вывода)
- Максимальный ток на выводе 3,3V: 50 мА
- Flash-память: 32 Кб (из них 2 Кб используются под загрузчик)
- SRAM-память: 2 Кб
- EEPROM-память: 1 Кб
- Тактовая частота: 16 МГц
- Длина: 45 мм
- Ширина: 18 мм

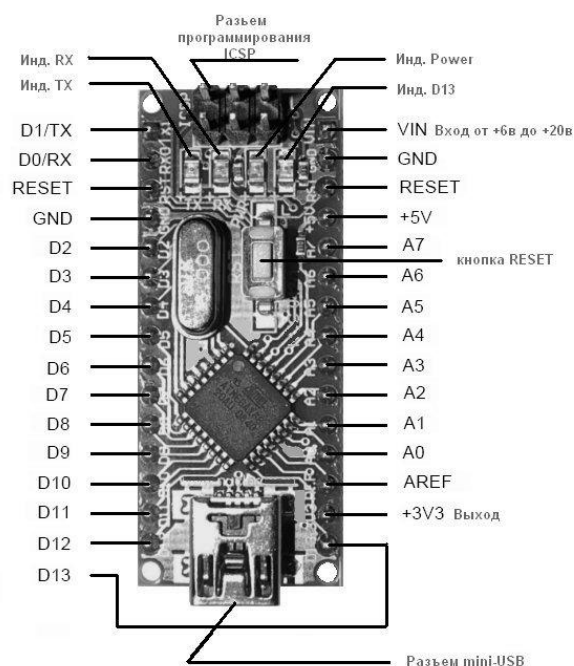


Рисунок 4—Внешний вид и описание функциональных элементов устройства

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист
20

2.2 Шаговый двигатель: принцип работы и технические характеристики

Шаговый двигатель — это электромеханическое устройство, преобразующие сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с возможностью фиксации его в заданном положении без использования устройств обратной связи. Шаговый двигатель состоит из статора, на котором расположены обмотки возбуждения (катушки электромагнитов) и ротора с постоянными магнитами (реже используются роторы с переменным магнитным сопротивлением). Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать большой крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках. По этой причине шаговые двигатели часто используются в станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

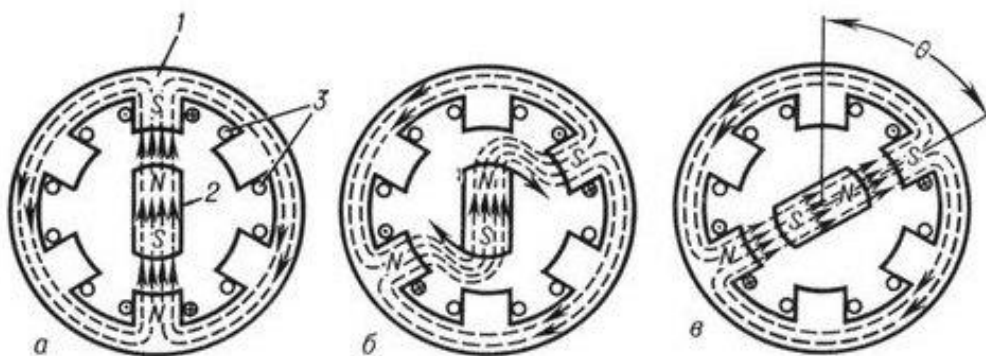


Рисунок 5—Основные стадии работы шагового двигателя

В зависимости от того, какие катушки статора включены или выключены в данный момент времени, ротор будет вращаться, чтобы «подстроиться» к магнитному полю. Представим себе шаговый двигатель, изображенный на рисунке 5, с двумя катушками в его статоре (1) и постоянном магните в качестве его ротора (2). Когда соответствующие катушки статора возбуждены, постоянно намагниченный ротор повернётся, чтобы «выстроиться» в линию с магнитным полем статора (Рисунок 5, а). Если магнитное поле не изменяется,

то ротор останется в этом положении. В момент, когда энергия магнитного поля в данной катушке пропадет и будет направлена к следующей катушке (3), ротор повернётся снова, чтобы подстроиться к полю в новой позиции (Рисунок 5, б, в). Каждый такой поворот соответствует углу шага (в данном примере это угол в 60°), который может изменяться в различных шаговых двигателях от 180° до доли градуса. Для дальнейшего вращения ротора энергия подается на следующую катушку, в то время как выключается предыдущая. Это заставляет ротор повернуться на следующий шаг в том же направлении. В нашем случае последовательность шести шагов вернет ротор в то же самое состояние, какое было в начале последовательности. Существует также понятие полушага, при котором вместо выключения одной катушки и включения следующей, включаются обе катушки одновременно. В этом случае, ротор повернется только на 30° (половина от 60°), чтобы выровнять себя в направлении наименьшего сопротивления. Если после этого выключить первую катушку, в то время как вторая останется включенной, ротор повернётся еще на 30° .

При противоположной последовательности включений/выключений катушек, ротор будет вращаться в противоположном направлении. Наиболее часто в промышленности применяются шаговые двигатели, обеспечивающие перемещение ротора на угол от 1.8° до 7.5° при полном шаге. Очевидно, чтобы уменьшить значение углов в одном шаге, нужно увеличить число полюсов. Однако существует физический предел количества задействованных полюсов.

Чтобы уменьшить дискретность перемещения ротора шагового двигателя, применяется т.н. микрошаговый режим. Микрошаг реализуется при независимом управлении током обмоток шагового двигателя. Управляя соотношением токов в обмотках, можно зафиксировать ротор в промежуточном положении между шагами. Таким образом можно повысить плавность вращения ротора и добиться достаточно высокой точности позиционирования.

Одним из элементов разработанного 3D-сканера является поворотный стол, который обеспечивает вращение находящегося на столе сканируемого

объекта на требуемый угол с заданным временным интервалом. В качестве привода поворотного стола был выбран шаговый двигатель 28BYJ-48 с редуктором, технические характеристики которого представлены ниже:

- Тип мотора: униполярный шаговый двигатель
- Число фаз: 4
- Подключение: 5-выводов (к контроллеру двигателя)
- Рабочее напряжение: 5-12 вольт
- Частота: 100 Гц
- Крутящий момент: 34.3 мН*м (120 Гц)
- Стопорящий момент: 600-1200 г*см
- Тяга: 300 г*см
- Режим шага: рекомендован полушаговый режим (8-шаговая управляющая сигнальная последовательность)
- Угол шага: 5.625 градусов на шаг, 64 шага на оборот внутреннего вала мотора
- Передаточное отношение редуктора: 64:1

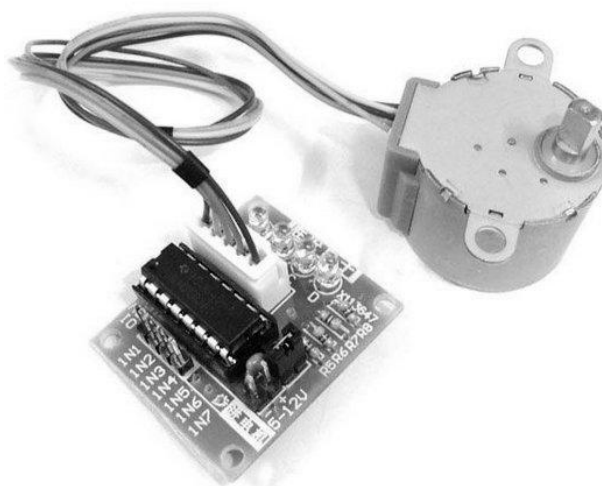


Рисунок 6–Шаговый двигатель 28BYJ-48 и блок управления (драйвер), основанный на микросхеме ULN2003

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист
23

2.2.1 Принципы управления шаговым двигателем

В самом общем виде, управление шаговым двигателем сводится к задаче отработать определенное число шагов в нужном направлении и с нужной скоростью. Как правило, работой шагового двигателя управляет электронная схема, а питание его осуществляется от источника постоянного тока. Шаговые двигатели применяют для управления частотой вращения без применения дорогого контура обратной связи.

На блок управления шаговым двигателем (драйвер) подаются сигналы вида "сделать шаг" и "задать направление". Сигналы чаще всего представляют собой импульсы 5В. Такие импульсы можно получить от LPT-порта компьютера, от специального контроллера управления или задавать сигналы самостоятельно от источника питания или генератора 5В.

В нашем устройстве роль управляющего драйвера играет микросхема ULN2003 фирмы Allegro, которая состоит из 7 транзисторных ключей с максимальным током в 0.5А.

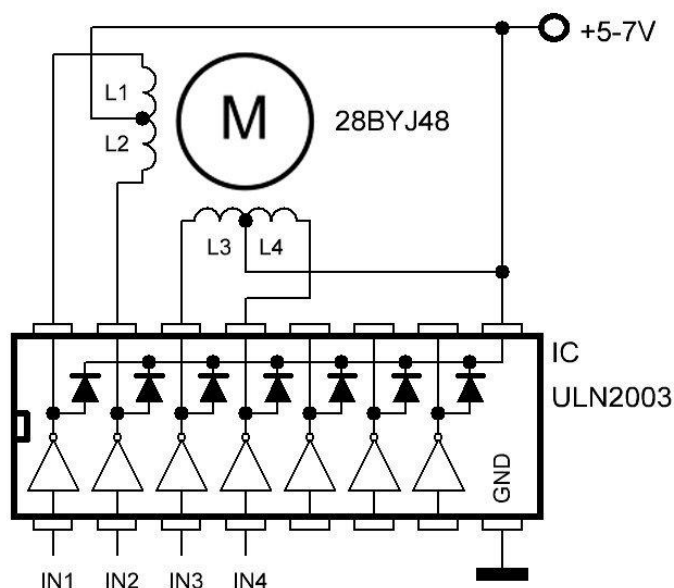


Рисунок 7—Схема подключения микросхемы ULN2003 к шаговому двигателю

Программное управление работой шагового двигателя 28BYJ-48 реализовано с помощью среды разработки ArduinoIDEи библиотеки AccelStepper, представляющей собой объектно-ориентированный интерфейс для работы с 2, 3 или 4-выводными шаговыми двигателями. Скриншот примера работы программы сдвигателем при помощи библиотеки AccelStepper представлен на рисунке 8.

```

sketch_test | Arduino 1.6.3
Файл Правка Эскиз Инструменты Помощь

sketch_test
#include<AccelStepper.h>

#define HALFSTEP 8

// Определение разъемов для управления двигателем
#define motorPin1 3 // IN1 на драйвере ULN2003
#define motorPin2 4 // IN2 на драйвере ULN2003
#define motorPin3 5 // IN3 на драйвере ULN2003
#define motorPin4 6 // IN4 на драйвере ULN2003

// Инициализируемся с последовательностью выводов IN1-IN3-IN2-IN4
// для использования AccelStepper с двигателем 28BYJ-48
AccelStepper stepper1(HALFSTEP, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);

void setup(){
  stepper1.setMaxSpeed(1000.0);
  stepper1.setAcceleration(100.0);
  stepper1.setSpeed(200);
  stepper1.moveTo(20000);
}

void loop(){
  // Изменяем направление, если ротор двигателя достигает заданного положения
  if(stepper1.distanceToGo()==0)
    stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
  stepper1.run();
}

Сохранили.

27 Arduino Nano, ATmega328 on COM8
  
```

Рисунок 8–Пример работы библиотеки AccelStepperв среде Arduino IDE

Представленный примерпрограммыначала ускоряет ротор двигателя 28BYJ-48 в одном направлении, затем замедляется до моментадостижения ротором 20000 шагов и вновь ускоряется, но при этом вращаясь в противоположном направлении.

2.3 Элементы отображения и считывания визуальных параметров сканируемого объекта

В разработанном устройстве в роли элементов, осуществляющих отображение вертикальных линий, фиксирующих геометрическую форму объекта в требуемом месте, выступают два лазерных модуля, характеристики которых приведены ниже:

Лазерный модуль с оптическим коллиматором

- Длина: 20мм
- Диаметр: 9 мм
- Мощность (оптическая): не более 50 мВт
- Длина волны: 650 нм
- Рабочий ток: не более 20 мА
- Падение напряжения на лазерном диоде 2.5-2.8 вольт
- Напряжение питания модуля: 3-5 вольт



Рисунок 9–Внешний вид лазерных модулей с коллиматором

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

26

Количество лазерных модулей в разрабатываемом устройстве может варьироваться от 1 до 4 шт. (как видно из схемы подключения ниже). Вследствие того, что сложность калибровки устройства с увеличением количества лазерных модулей значительно возрастает, было принято решение в итоговом варианте устройства использовать два лазерных модуля.

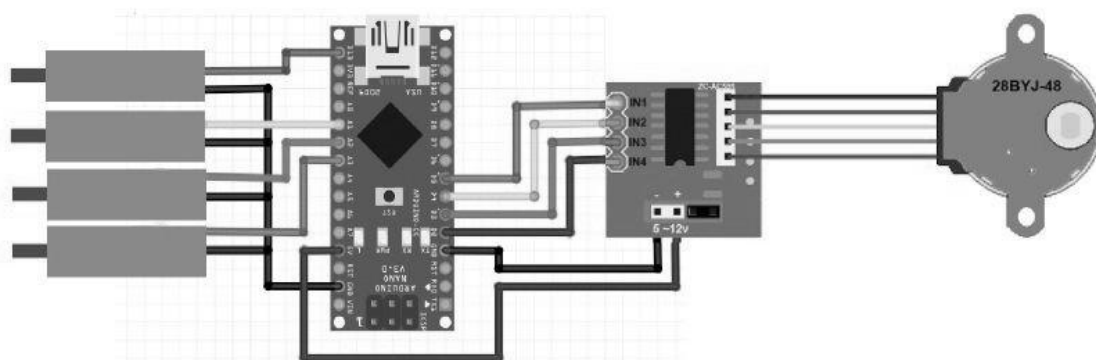


Рисунок 10—Схема подключения основных элементов к микроконтроллеру

В роли элемента, осуществляющего считывание геометрии сканируемого объекта во время сканирования, используется малоразмерная цифровая видеокамера (веб-камера) с разрешением матрицы 1280x720 пикселей. Можно также выделить основные требования, предъявляемые к камере:

- необходима поддержка Windows Driver Model (WDM) — программной платформы для драйверов различных устройств
- частота кадров при съемке, не менее: 30 кадров/с
- разрешение матрицы, не менее: 640x480 пикселей
- наличие ручной фокусировки
- работа через USB-порт

Камера должна захватывать изображение с минимумом шумов при высоком разрешении, также у камеры должна быть достаточно качественная линза — она не должна давать сильных геометрических искажений изображения.



Рисунок 11–Внешний вид камеры, используемой в устройстве

С увеличением разрешения матрицы возрастает качество сканирования, однако пропорционально увеличивается и нагрузка на аппаратное обеспечение компьютера. Хорошим вариантом может стать качественная веб-камера с ПЗС-матрицей (использующая технологию ПЗС — приборов с зарядовой связью), имеющая возможность захвата изображения в градациях серого. Важную роль в процессе сканирования также играет освещение и точность позиционирования линий, формируемых лазерными модулями.

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

2.4 Элементы конструкции и крепления разрабатываемого устройства

При создании элементов конструкции использовались как металлические, так и пластиковые детали. Основным металлом, используемым в ходе сборки — алюминий. Для соединения пластиковых элементов конструкции использовался алюминиевый профиль квадратный трубчатый с размерами 20x20x1000мм и толщиной стенок 1,5 мм.

В раме устройства используются отрезки профиля следующих размеров:

- 2 x 140мм
- 1 x 120мм
- 1 x 250мм

В роли остальных элементов конструкции выступают элементы из АБС-пластика (акрилонитрилбутадиенстирол, ударопрочный термопластик), полученные методом трехмерной печати на 3D-принтере (моделирование методом послойного наплавления).

Технические характеристики АБС-пластика:

- Температура стеклования: Около 105°C
- Прочность на изгиб: 41 МПа
- Предел прочности на разрыв: 22 МПа
- Модуль упругости при растяжении: 1627 МПа
- Относительное удлинение: 6%
- Усадка при охлаждении: До 0,8%
- Плотность материала: Около 1,05 г/см³

Дополнительная обработка элементов из АБС-пластика осуществлялась путем шлифовки и последующей окраски элемента универсальным алкидным белым грунтом.

Для скрепления элементов между собой использовалось винтовое соединение винтами М3 и М4.

В конструкции поворотного стола используется круг диаметром 150 мм из листа алюминиевой композитной панели. Для обеспечения равномерного вращения стола используются три поддерживающие опоры, контактирующие с поворотной площадкой через подшипники скольжения с внутренним диаметром 4 мм.

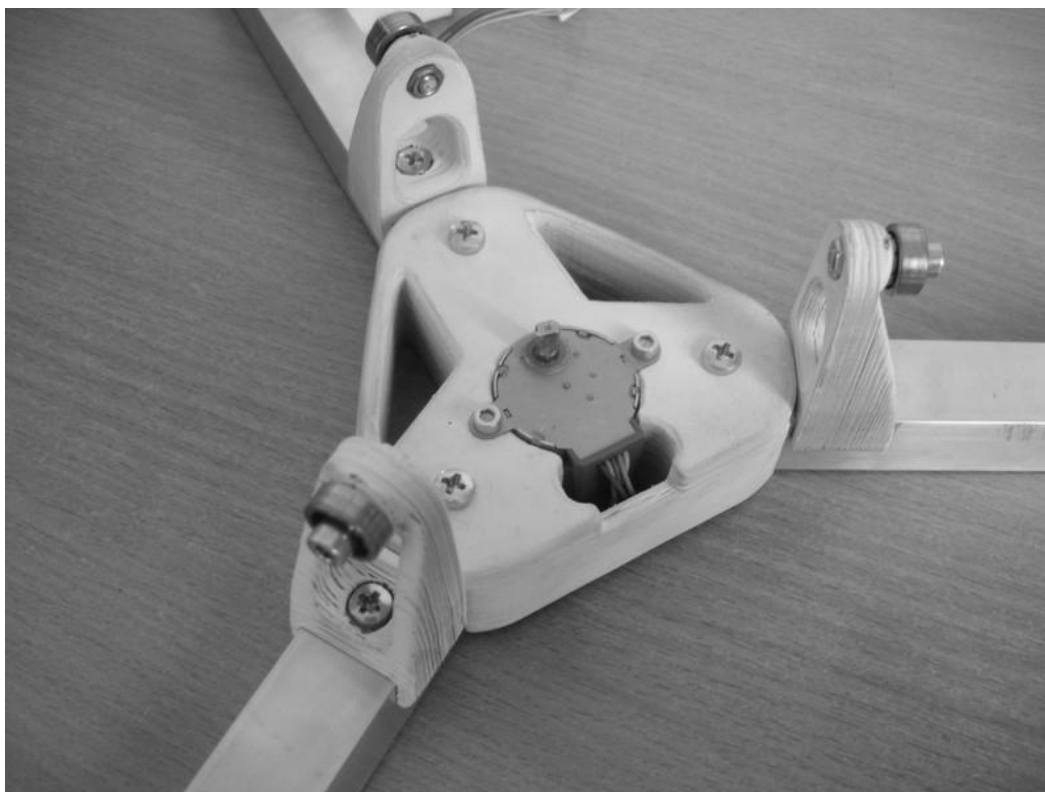


Рисунок 12–Крестовина поворотного стола и поддерживающие опоры

Использование шагового двигателя с редуктором с высоким крутящим моментом позволяет поворотной площадке осуществлять вращение стола совместно с объектом, имеющим массу, даже многократно превышающую массу всего 3D-сканера (вплоть до нескольких килограммов). Металлические подшипники, закрепленные винтами М4, обеспечивают надежную фиксацию площадки во время вращения и позволяют избежать нежелательных кренов и наклонов площадки во время сканирования. Алюминиевый профиль позволяет регулировать положение поддерживающих опор относительно центра поворотного круга, что позволяет использовать поворотные площадки нужных

размеров, подходящих под размеры основания сканируемого объекта. Возможные габаритные размеры (диаметры) поворотных площадок: от 150 мм до 250 мм.

Для размещения модуля ArduinoNanoсовместно с микросхемой драйвера шагового двигателя 28BYJ-48и подключения их между собой используются корпус с крышкой, полученные методом трехмерной печати. Материал — АБС-пластик. Для закрывания корпуса крышка фиксируется с помощью двух винтов М3. На рисунке 13 виден способ крепления головной части устройства с алюминиевым профилем с помощью Г-образной детали из АБС-пластика.



Рисунок 13–Корпус для размещения электроники и Г-образная деталь

Фиксация платы драйвера шагового двигателя обеспечивается креплением ее к внутренней стенке корпуса с помощью двух винтов через уже существующие крепежные отверстия в углах платы. Для фиксации платы микроконтроллера ArduinoNano внутри корпуса предусмотрена дополнительная пластиковая деталь в виде своеобразной прижимной скобы.

Изм.	Колоч.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

Для фиксации лазерных модулей в нужных местах головной детали устройства на 3D-принтере были напечатаны крепления в виде зажимов, которые при закручивании винта М3 и гайки обеспечивают надежную фиксацию цилиндрического модуля внутри крепления. Необходимое количество креплений определяется заранее и напрямую зависит от количества используемых лазерных модулей при проектировании устройства (в нашем случае количество равно двум).



Рисунок 14—Пластиковое крепление лазерного модуля, зафиксированное на раме

Лазерные модули закреплены таким образом, чтобы лазерный луч, излучаемый каждым из модулей, проходил точно через центр вертикальной оси поворотного стола и был строго параллелен ей. Расстояние от модулей до центра поворотного стола, как и расстояние от каждого модуля до устройства захвата видеоизображения должно быть одинаковым.

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

32

Более наглядно расположение основных элементов устройства можно увидеть на фотографии вида сверху (Рис. 15). Между точками, в которых находятся излучатели лазерных модулей, и центром поворотной площадки, нарисован условный равнобедренный треугольник, который разделяет на два равных треугольника линия, проходящая от центра объектива камеры и до противоположной ей вершины. Для построения геометрически правильной трехмерной модели сканируемого объекта при использовании устройства необходимо будет указать расстояния некоторых граней треугольника, а также высоту расположения оси камеры относительно горизонтальной оси поворотной площадки. Все эти параметры необходимы для геометрических вычислений во время сканирования объекта. Как правило, они вносятся в программу управления устройством во время этапа калибровки и настройки.

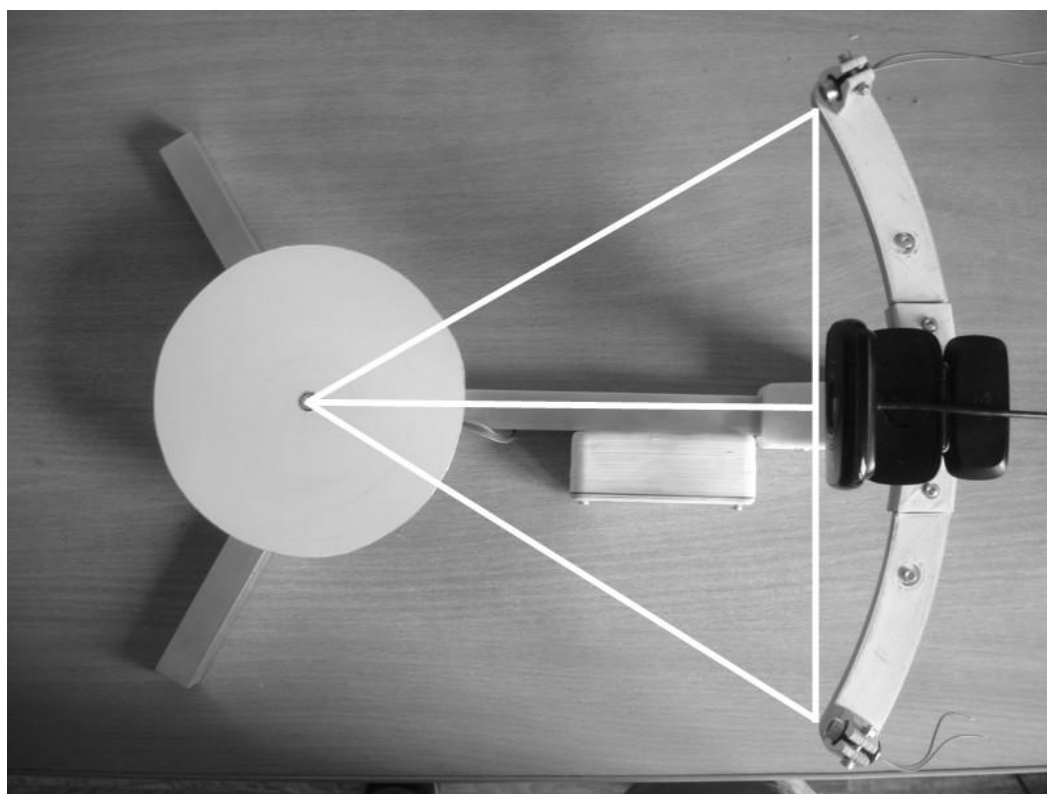


Рисунок 15–Вид сверху на устройство и условный равнобедренный треугольник

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

33

Глава 3 Описание программной части АРМ

3.1 Начало работы с устройством

Для начала работы с устройством необходимо загрузить во внутреннюю память микроконтроллера Arduino управляющую программу и настроить ее. Настройка основных параметров подключения лазерных модулей и шагового двигателя производится в файле configuration.h (Рис. 16):



Рисунок 16–Файл настройки configuration.h в среде ArduinoIDE

В этом файле настраивается скорость работы последовательного порта (115200 бод), определяются цифровые входы, используемые в микросхеме драйвера ULN 2003, задаются основные параметры работы шагового двигателя,

а также определяется количество лазерных модулей и разъемы Arduino, используемые для работы с ними. Все эти параметры считываются и передаются основной управляющей программе, фрагмент которой представлен ниже:

```
voidTableCommand() //объявление функции, отвечающей за управление поворотным столом;
```

```
{ char *arg;
arg = SCmd.next();
if (arg != NULL)
{ if(arg[0]=='R'||arg[0]=='r') // команда на относительное вращение
{ char *arg2 = SCmd.next();
intpos=atoi(arg2);
stepper1.move(RotationToSteps(pos));
stepper1.runToPosition();
Serial.print("RELATIVE ROTATION :");
Serial.print(pos);
Serial.print(" => ");
Serial.println(StepsToRotation(stepper1.currentPosition()));    }
elseif(arg[0]=='A'||arg[0]=='a') // команда на абсолютное вращение
{ char *arg2 = SCmd.next();
intpos=atoi(arg2);
stepper1.moveTo(RotationToSteps(pos));
stepper1.runToPosition();
Serial.print("ABSOLUTE ROTATION ");
Serial.print(pos);
Serial.print(" => ");
Serial.println(StepsToRotation(stepper1.currentPosition()));    }
elseif(arg[0]=='S'||arg[0]=='s') // вращение на фиксированный шаг
```

```

{ Serial.print("REVOLUTION STEPS ");
Serial.print(" => ");
Serial.println(StepsToRotation(REVOLUTION_STEP)); }
elseif(arg[0]=='C' ||arg[0]=='c') // сброс текущего положения
{ stepper1.setCurrentPosition(0);
Serial.print("RESET CURRENT POSITION ");
Serial.print(" => ");
Serial.println(StepsToRotation(stepper1.currentPosition())); }
else
{ Serial.print("Unknown Table command :");
Serial.println(arg); }
else { Serial.print("Position ");
Serial.println(StepsToRotation(stepper1.currentPosition()));} }

```

voidLaserCommand() //объявление функции, отвечающей за команды лазерных модулей;

```

{ char *arg;
arg = SCmd.next();
if (arg != NULL)
{intlaserIndex=atoi(arg);
char *arg2 = SCmd.next();
if (arg2 == NULL)
{ Serial.print("LASER_STATE: ");
Serial.print(laserIndex);
int pin =getLaserPin(laserIndex);
Serial.print("(");
Serial.print(pin);
Serial.print(") = ");
if(pin>=0)

```

```

Serial.println(digitalRead(pin));
else
Serial.println(-1);}
else {int laserState = atoi(arg2);
int pin =getLaserPin(laserIndex);
if(pin>=0)
digitalWrite(          pin,          laserState==1?HIGH:LOW);          //
переключение состояния лазера с текущим индексом
Serial.print("SET_LASER: ");
Serial.print(laserIndex);
Serial.print("(");
Serial.print(pin);
Serial.print(") = ");
Serial.println(digitalRead(pin));}}
else {Serial.print("LASER_COUNT: ");
Serial.println(LASER_COUNT);}}

```

После этапа настройки и инициализации управляющая программа переходит в режим обработки команд, поступающих по последовательному порту непосредственно во время работы устройства и касающихся работы элементов, находящихся под управлением микроконтроллера — шагового двигателя и лазерных модулей соответственно.

3.2 Калибровка устройства

Калибровка устройства осуществляется в несколько этапов — наибольшую важность в этом процессе играет правильная настройка лазерных модулей. Калибровка лазеров является одной из самых сложных задач для выполнения в процессе настройки устройства. Требуется выполнение повторяющихся операций для каждого лазерного модуля независимо друг от друга. Также необходимо отрегулировать лазерный луч так, чтобы он стал как можно более тонким. Для калибровки используется вспомогательная фигура, также полученная методом трехмерной печати. Она размещается в центре поворотного стола, и на нее по очереди проецируются линии от лазерных модулей, для того, чтобы определить их вертикальность и взаимное расположение в пространстве.

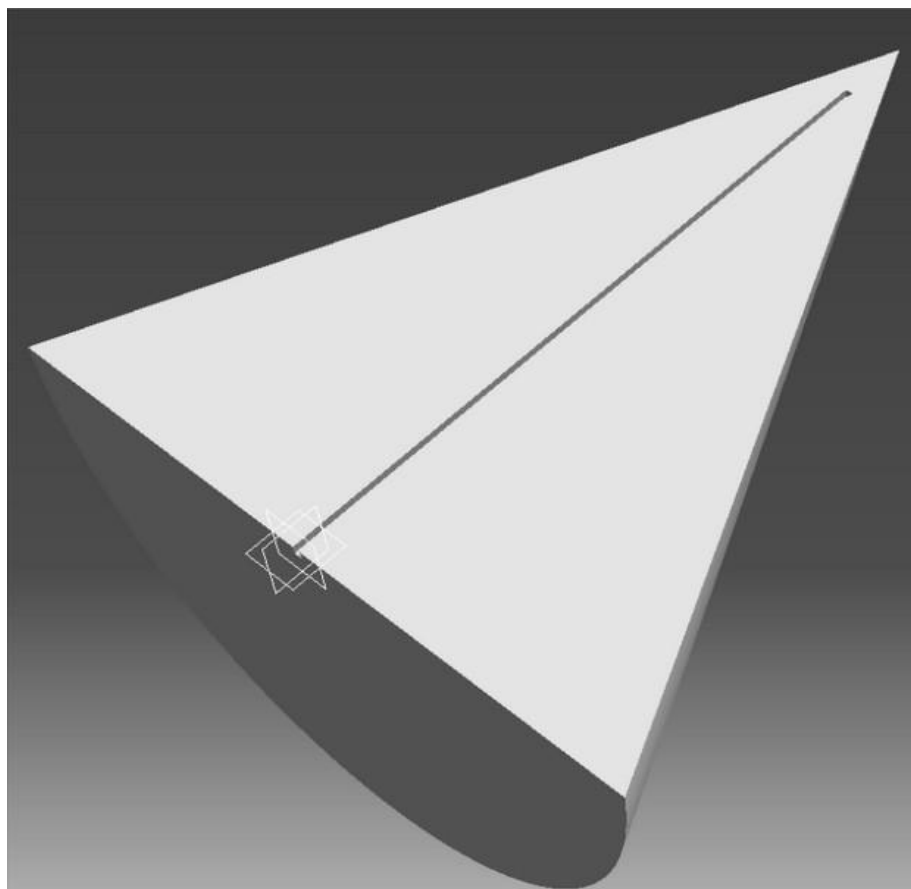


Рисунок 17–Вспомогательный конус с центральной линией (3D-модель)

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

3.2.1 Настройка расстояний и углов

Для настройки и калибровки взаимного расположения основных элементов устройства используется наглядная форма для внесения размеров и основных углов, необходимых программному обеспечению устройства для определения координат и размеров сканируемого объекта по трем основным осям координат (X, Y, Z).

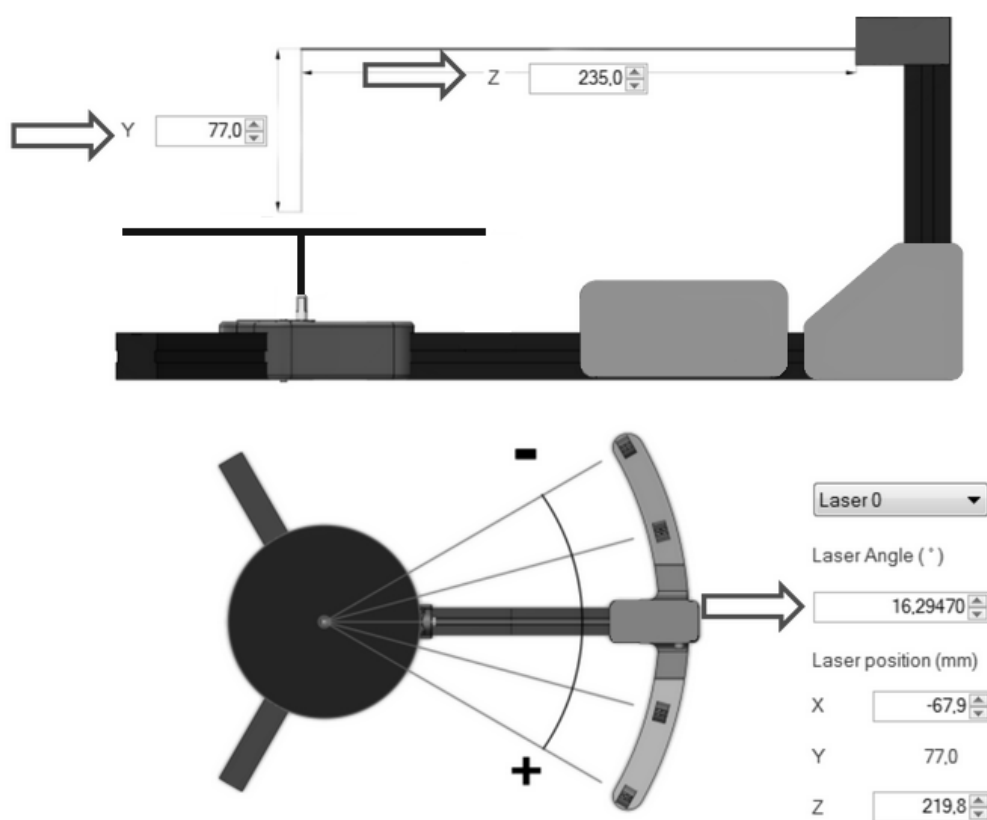


Рисунок 18—Форма изменения основных размеров и углов

На данном этапе требуется измерение расстояния от каждого лазерного модуля до центра поворотного стола, измерение высоты расположения камеры относительно верхней точки поворотного стола, а также измерение расстояния от вертикальной оси, проходящей через центр стола, до объектива камеры.

3.2.2 Настройка и проверка отображения лазерного луча

На этом этапе происходит процесс корректировки изображения лазерного луча с целью устранения возможных шумов, захватываемых камерой при записи. Для этого требуется перейти в меню тонких настроек камеры и настроить параметры так, чтобы в окне захвата получилась как можно более непрерывная линия, и по возможности устранить все изолированные точки и разрывы на захватываемой линии лазера. Эту операцию требуется проводить каждый раз, когда происходит заметное изменение оптических свойств сканируемого объекта (светоотражающие свойства материала, его цвет). Операцию необходимо проводить с той частью объекта, которую необходимо будет отсканировать (если объект сканируется не полностью).

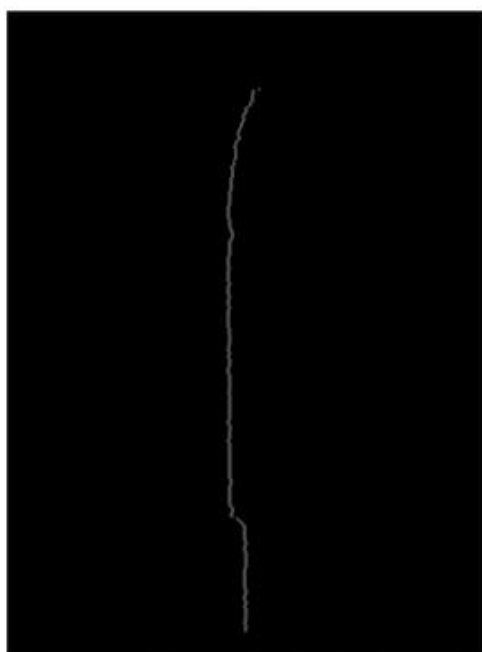


Рисунок 19–Настройка захвата проецируемой линии лазерного луча

Качество отображения и захвата проецируемой линии также зависит от условий окружающего освещения и в большей степени от правильной настройки устройства захвата видеоизображения.

Изм.	Копич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

3.2.3 Коррекция матрицы

Коррекция матрицы является последним шагом калибровки сканера и не менее важным, чем остальные, для достижения правильной геометрической формы объекта по завершению сканирования. Для этого потребуется объект произвольной формы (желательно симметричный относительно вертикальной оси). Для этого во вкладке "Калибровка" требуется выбрать пункт "Коррекция матрицы". После того, как калибровочный объект установлен в центре площадки, нужно запустить быстрое сканирование. После его завершения в окне на виде сверху мы получаем несколько сканов объекта разного цвета, наложенных друг на друга. Как правило, до калибровки они не совпадают между собой по размерам и по расположению в пространстве. Основная задача коррекции состоит в том, чтобы обеспечить выравнивание полученных сканов разных цветов относительно друг друга таким образом, чтобы в итоговом варианте они точно наложились друг на друга и совпали между собой как по размеру, так и по углу поворота относительно вертикальной оси.

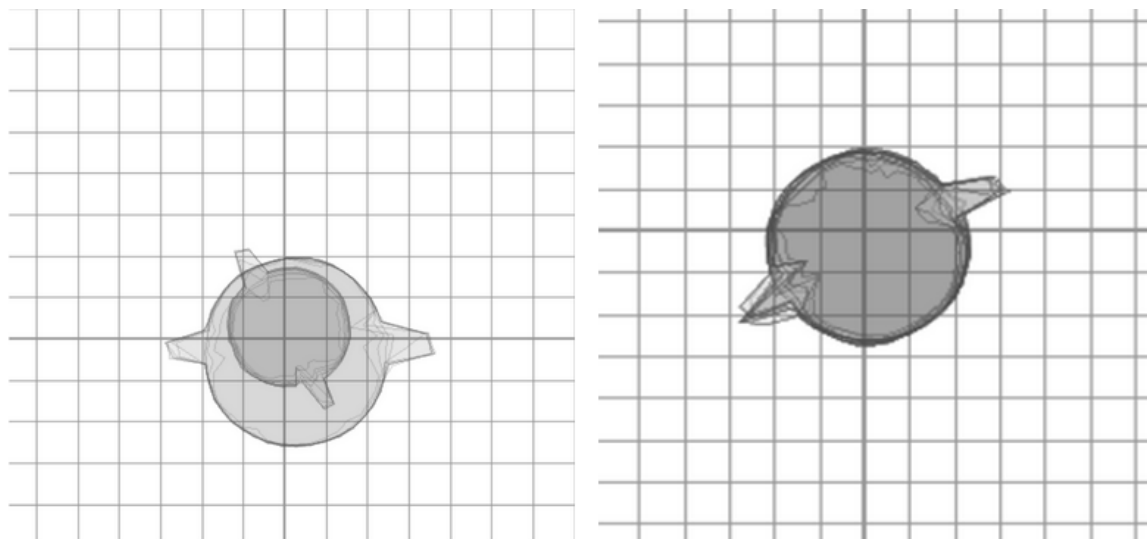


Рисунок 20—Калибровка результатов сканирования несколькими лазерами

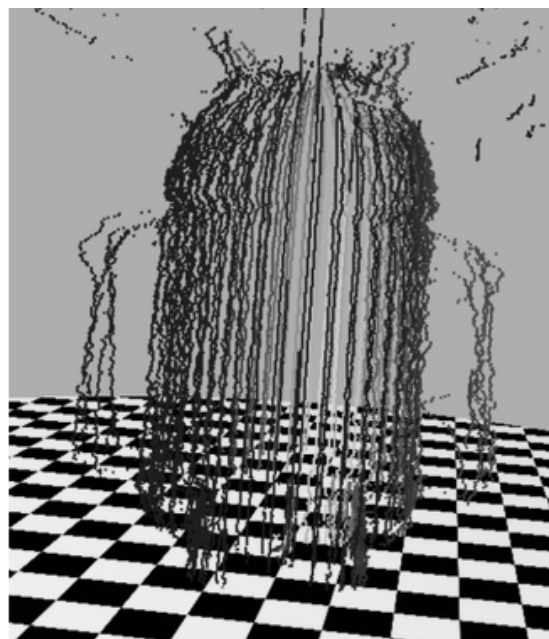
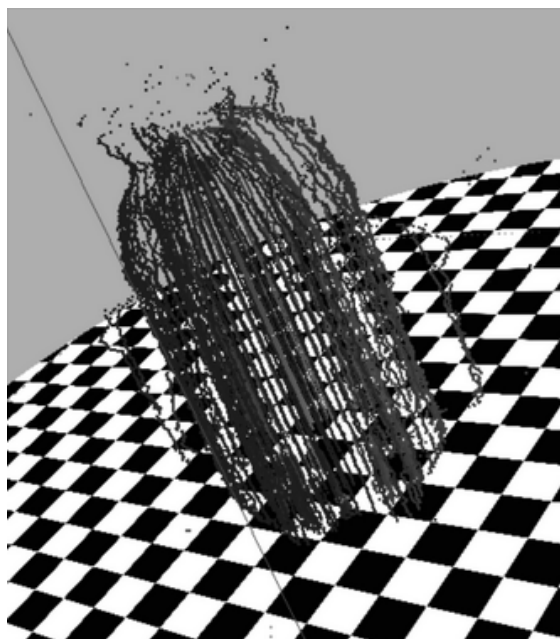


Рисунок 21–Результаты быстрого сканирования до и после коррекции матрицы

В случае использования четырех лазерных модулей в процессе коррекции матрицы потребуется обеспечить совмещение четырех проекций отсканированного объекта (для удобства восприятия каждый из них отличается цветом). В качестве эталонного размера отсканированного объекта берется вариант с центром, наиболее близко находящимся относительно центра координат в проекции на виде сверху. Точного совмещения двух результатов быстрого сканирования можно добиться благодаря возможности изменения масштаба объекта перед сканированием.

3.3 Интерфейс программного обеспечения

Основное окно программы состоит из нескольких частей:

- Раздел с кнопками настройки, калибровки устройства и сканирования;
- Панель с отображением текущего статуса лазерных модулей;
- Окно, отображающее текущую область обзора устройства захвата изображения со вспомогательными линиями;
- Панель кнопок для настройки внешнего вида окна, сворачивания/разворачивания и выхода из программы.

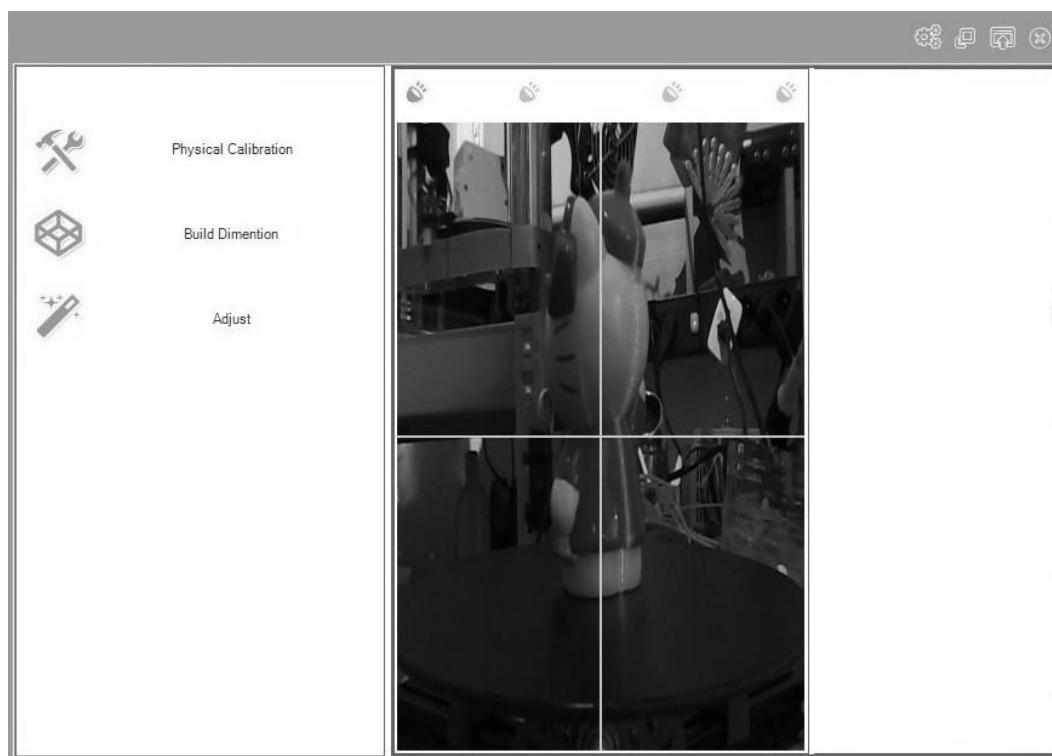


Рисунок 22–Основное окно программы

В разделе PhysicalCalibration находятся вспомогательные элементы для физической калибровки основных компонентов устройства. В разделе BuildDimention находится функционал, непосредственно связанный с процессом 3D-сканирования и сохранения результата. В разделе Adjust находятся прочие компоненты для коррекции входного изображения.

Изм.	Коллич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

43

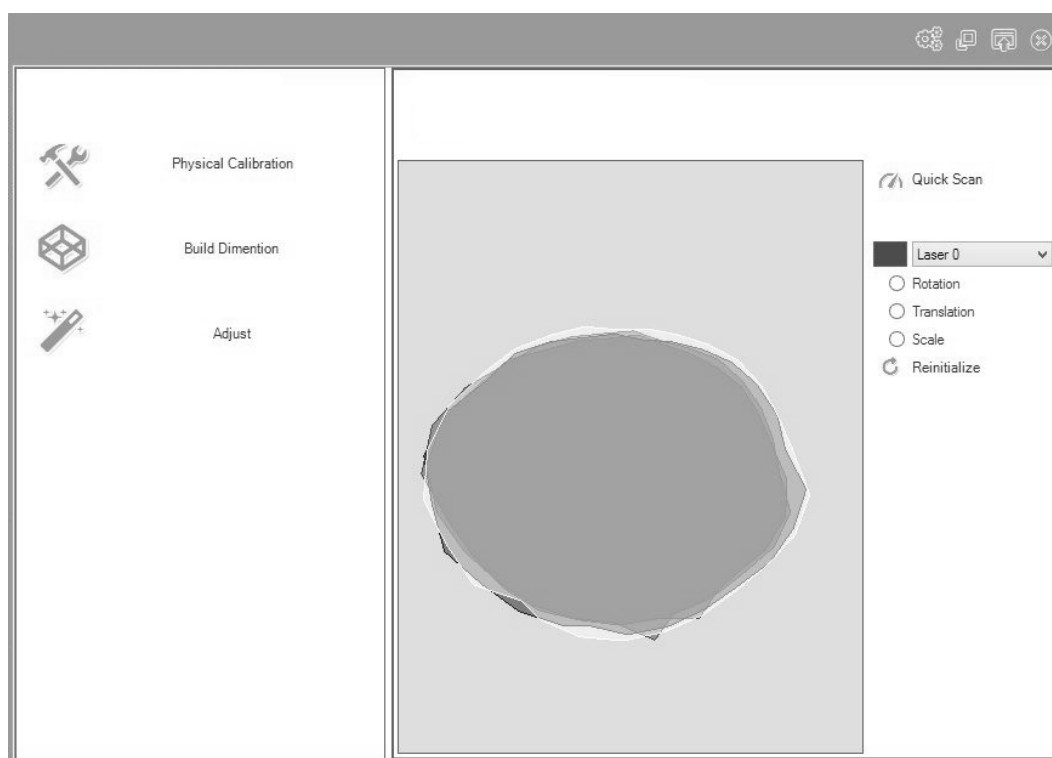


Рисунок 23–Окно быстрого сканирования

Основное предназначение быстрого сканирования — выполнение первичной настройки и проверки функциональной работоспособности программной и аппаратной части устройства. Также оно используется на этапе калибровки и коррекции матрицы. В режиме быстрого сканирования задействуется лишь один лазерный модуль, выбор которого можно осуществлять из всплывающего списка в правой части окна. Также в этой части находятся кнопки поворота (Rotation), перемещения (Translation) и масштабирования (Scale) модели объекта, полученной в результате быстрого сканирования. Кнопка Reinitialize служит для сброса текущего прогресса сканирования и удаления ранее построенной модели объекта. В центральном окне отображается непосредственно сам процесс построения облака точек по исходным данным, полученным от выбранного лазерного модуля. Кнопка QuickScan служит для непосредственно запуска процесса быстрого сканирования.

3.4 Сканирование различных объектов и анализ результатов

Проведенные тестовые сканирования различных объектов в полной мере отображают возможности работы устройства по его назначению. Также исходя из результатов сканирования можно сделать выводы о точности передачи геометрии объекта, особенностях использования устройства в различных условиях и прочих нюансах его функционирования.

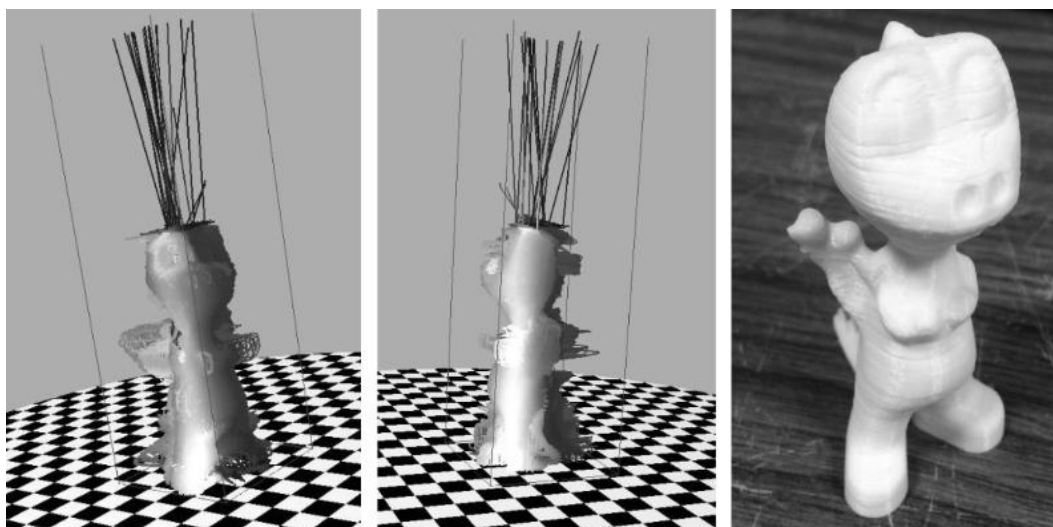


Рисунок 24—Тестовое сканирование небольшого объекта из белого пластика

В процессе работы устройство достаточно чувствительно к внешней среде и в частности к уровню окружающего освещения и соотношению естественного и искусственного света, падающего на сканируемый объект. Оптимальные условия окружающего освещения в помещении —не слишком яркий ненаправленный естественный свет, яркий искусственный свет ламп накаливания снижает точность захвата линии лазера камерой и, как следствие, может негативно повлиять на качество сканирования. Также для сканирования предпочтительны объекты с ровным основанием, обеспечивающим устойчивость объекта при поворотах стола во время сканирования. В некоторых случаях поверхность стола будет отсканирована вместе с объектом, что может создать определенные трудности при последующей

Изм.	Копич.	Лист.	№ док	Подпись	Дата

ДП-230201.65–770702185 ПЗ

Лист

45

обработке объектов в 3D-редакторе. Также не рекомендуется сканирование объектов с высокой отражающей способностью, это приводит к искажению линии луча лазера, проецируемой на объект. По возможности подобные объекты, как правило, непосредственно перед процессом сканирования покрываются каким-либо видом матового грунта или краски.

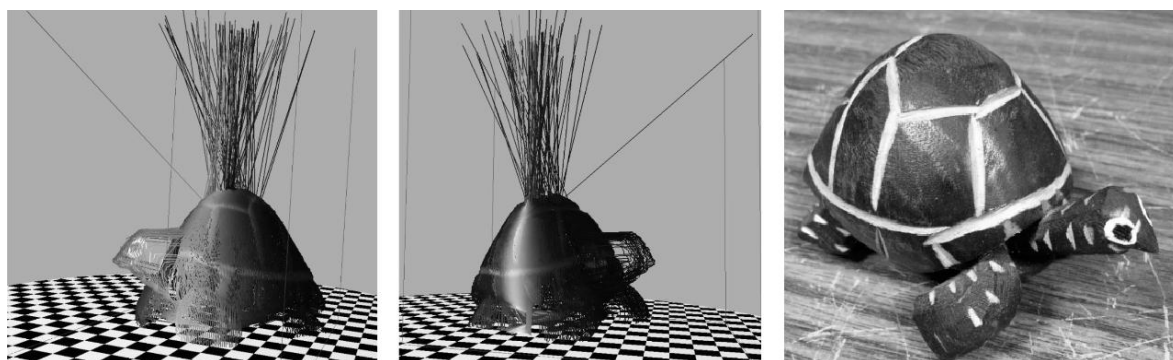


Рисунок 25—Сканирование глиняной черепахи с контрастной цветовой гаммой

Во время сканирования алгоритм работы программы пытается соединить точки геометрии объекта друг с другом, однако в верхней части объекта всегда остается область, не попадающая в область видимости устройства захвата изображения. В этой области возникают т.н. паразитные точки, связанные с произвольной точкой на верхней границе области сканирования. Подобную проблему может решить реализация регулировки высоты подъема камеры относительно объекта. Также скругления в верхней точке объекта и области, лежащие под большим углом относительно поля зрения камеры, или параллельные направлению ее обзора, приводят к невозможности адекватного построения геометрической формы объекта по лазерному лучу в данных областях. Оптимальный размер сканируемого объекта ограничен размерами поворотной платформы и, в большей степени, — высотой подъема камеры относительно нее.

3.5 Возможные варианты модернизации устройства

В качестве возможных путей модернизации устройства с целью повышения функциональности и эксплуатационных качеств можно рассмотреть следующие варианты:

Реализация подъема крепления лазерных модулей и устройства захвата на необходимую высоту с помощью одного из видов винтовой передачи и использования нескольких шаговых двигателей в конструкции (в том числе возможна реализация наклона камеры на фиксированный угол во время сканирования для минимизации искажений в мертвых зонах поля зрения камеры). Реализация потребует переделывания крепления всей верхней части устройства, также возникнет необходимость в дополнительном источнике питания для шаговых двигателей. Также данный вид модернизации потребует значительных изменений в алгоритме работы устройства при пропорционально увеличившейся сложности в построении и калибровке устройства.

Изменение типа 3D-сканера на сканер, работающий по принципу структурированного света. Данный шаг позволит отказаться от использования лазерных модулей, однако в свою очередь потребует подходящий по своим параметрам источник излучения структурированного света. Как правило, в профессиональных сканерах эту роль играют проекторы с высоким разрешением выходного сигнала (HD-разрешение). Они позволяют проецировать на объект сетку необходимой плотности ячеек, состоящую из линий малой толщины. Также этот путь модернизации потребует устройство видеозахвата соответствующего уровня, т.к. в данном виде трехмерного сканирования многое зависит именно от качества захватываемого изображения. Два вышеописанных элемента поднимут итоговую себестоимость построения устройства на несколько порядков, однако также это позволит получать 3D-модели сканируемых объектов очень высокого качества (при должной программной реализации).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам данной выпускной квалификационной работы были спроектированы и разработаны программная и аппаратная части устройства класса «лазерный 3D-сканер», позволяющего автоматизировать процесс получения трехмерных моделей физических объектов. Устройство может быть использовано не только в качестве хорошей базы для приобретения навыков проектирования электронных устройств с элементами числового программного управления, но и как основа для дальнейших модернизаций устройства для реализации конкурентоспособного продукта на рынке устройств подобного класса и предназначения.

Пользовательский интерфейс программной части устройства понятен и прост в обращении, а также наглядно демонстрирует все основные этапы работы с устройством.

В ходе работы с устройством протестированы и выявлены все основные тонкости работы устройства подобного класса, проведен анализ возможных вариантов его модернизации. Анализ дальнейших путей развития автоматизированного рабочего места оператора 3D-сканера позволил определить два основных пути дальнейшего развития аппаратной и программной части устройства в зависимости от поставленных требований относительно качества получаемых трехмерных моделей сканируемых объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лысыч М. Н. Оборудование для 3D сканирования : науч. изд. / М. Н. Лысыч, М. Л. Шабанов, В. В. Романов. – Москва : Современные наукоемкие технологии, 2014. – № 12-2.
2. Джамбруно Марк. Трехмерная графика и анимация : науч. изд. / М. Джамбруно. – Москва : Вильямс, 2002. – 624 с.
3. Буянов С.С. Перспективы использования 3D-технологий для развития информационно-аналитической платформы «История современной России» : исторические исследования / С. С. Буянов. – Москва, 2014. – 97 с.
4. Нгуен А. В. 3D система обнаружения пространственных объектов с помощью манипуляционного робота : дис. ... канд. тех. наук: 05.02.05 / Нгуен Ань Ван – Москва, 2015. – 176 с.
5. Баранов Ю. М. Реконструкция утраченных промышленных объектов и раритетных технологий с использованием компьютерного моделирования : науч. изд. / Ю. М. Баранов, Е. А. Курлаев. – Нижний Тагил, 2000. – 53 с.
6. Емельянов А. В. Шаговые двигатели: учеб. пособие / А. В. Емельянов, А. Н. Шилин. – Волгоград, 2005. – 48 с.
7. Божко А.Н. Компьютерная графика : учеб. пособие / А. Н. Божко, Д. М. Жук, В. Б. Маничев. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2007. – 418 с.
8. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения : науч. изд. / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, А. В. Бондаренко. – Москва: Физматкнига, 2010. – 672 с.
9. Максимов А. Ф. Спекл-интерферометр главного фокуса БТА на базе быстродействующей ПЗС-камеры : дис. ... канд. тех. наук: 01.03.02 / Максимов Александр Федорович – Нижний Архыз, 2003. – 158 с.
10. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.